

REDACTED

REDACTED

SOITEC

Parc Technologique des Fontaines Bernin
38926 CROLLES CEDEX

COPIE

JC/011

NOTE DE DEBIT

N°

REDACTED

Objet : Nouvelle demande de brevet en France
Au nom de : S.O.I.TEC SILICON ON INSULATOR TECHNOLOGIES
Titre : « SOITURA » - Bibliothèque
Nos Réf. : 239 603 / D19 989 - ELF/JC

EUROS

Nos honoraires pour :

- Analyse de documentation,
- Nos entretiens téléphoniques,
- Préparation et soumission d'un projet de demande de brevet.

Nos débours pour :

- Taxe de dépôt,
- Taxe de revendication au-delà de la 10^{ème} (€ 15 x 14),
- Taxe de rapport de recherche.

D U P L I C A T A

TOTAL H.T.

T.V.A. 19,6 %

TOTAL T.T.C.

REDACTED

« En cas de disparité entre le montant en Euros et le montant en Francs français, seul le montant en Euros doit être pris en considération »

Règlement comptant à réception - Escompte : néant - Taux de pénalité : 1,5 fois taux d'intérêt légal (ordonnance du 01/12/86)

CONDITIONS DE REGLEMENT : Suivant usage des professions libérales et les règles adoptées par l'association des Conseils en Propriété Industrielle, nos notes de débours et honoraires doivent être payées comptant.

Membre d'une association agréée. Le règlement par chèque est accepté - T.V.A. Eur. :

REDACTED

DOSSIER

BEST AVAILABLE COPY

SOITEC
Parc Technologique des Fontaines – Bernin
38926 CROLLES CEDEX

A l'attention de Cécile LEROUX

Paris,

REDACTED

Objet : **Nouvelle demande de brevet en France**
Au nom de : **S.O.LTEC SILICON ON INSULATOR TECHNOLOGIES**
Titre : **« SOITURA » - Bibliothèque**
Nos Réf. : **239 603 / D19 989 – BLF/JC**

Chère Mademoiselle,

Vous trouverez ci-joint un projet de texte de demande de brevet pour l'objet cité en référence.

Nous restons maintenant dans l'attente de vos commentaires, en vue du dépôt de ce texte.

Nous joignons à la présente notre note de débit pour notre intervention dans cette affaire.

Veuillez agréer, Chère Mademoiselle, à l'expression nos salutations distinguées.

REDACTED

REDACTED

P.J. :

- *Projet de texte*
- *Note de débit*

La présente invention concerne la fabrication de composants semi-conducteurs pour la micro-électronique et/ou l'optoélectronique.

Plus précisément, l'invention concerne un procédé de correction de l'épaisseur d'une couche mince de matériau semiconducteur, comprenant les
5 opérations suivantes :

- acquisition d'au moins une mesure d'épaisseur de la couche,
- détermination de spécifications de correction d'épaisseur à appliquer à la couche, en fonction de(s) mesure(s) d'épaisseur acquise(s),
- correction de l'épaisseur de la couche selon lesdites spécifications de
10 correction.

Et l'invention concerne également un dispositif associé.

De telles couches minces sont réalisées au terme d'une chaîne de fabrication comportant plusieurs étapes successives.

Le document FR 2 681 472 illustre par exemple un procédé de
15 fabrication, appelé procédé Smart-Cut®, de couches et de films minces de matériau semi-conducteur dont une variante comprend les étapes suivantes :

Lors d'une première étape, on oxyde au moins une face d'une plaque de matériau semi-conducteur.

Lors d'une deuxième étape, on crée par implantation ionique, une
20 couche de microbulles gazeuses sous une face de la plaque.

Lors d'une troisième étape, dite de collage, cette face de la plaque est reportée sur un substrat support et rendue solidaire de celui-ci.

Lors d'une quatrième étape, l'ensemble constitué par la plaque et le substrat support est soumis à un traitement thermique apte à créer une fracture
25 de la plaque au niveau de la couche d'implantation.

Lors d'une cinquième étape, des techniques de finition sur la face d'implant de la partie comprenant le substrat sont mises en œuvre pour permettre notamment de diminuer les défauts engendrés par la fracture, et de garantir l'uniformité d'épaisseur de la couche.

Le procédé Smart-Cut® permet aussi de réaliser des structures multicouches de type SOI, acronyme anglo-saxon de Silicon On Insulator, en gardant sur la face d'implant de la plaque une couche d'oxyde, créée lors de la première étape, afin d'intercaler, lors de l'étape de collage, la couche d'oxyde
 5 entre le substrat support et la plaque.

Les étapes 101 à 105 de fabrication d'une structure SOI selon un mode de réalisation du procédé Smart-Cut® sont ainsi illustrées sur la figure 1.

Ces étapes sont les suivantes :

- étape 101 d'oxydation,
- 10 • étape 102 d'implantation,
- étape 103 de collage,
- étape 104 de traitement thermique,
- étape 105 de finition.

On précise qu'il existe également d'autres types de procédés permettant
 15 de fabriquer des structures SOI.

Quel que soit le type de procédé mis en œuvre, chaque nouvelle étape incluse dans une chaîne de fabrication demande nécessairement des manipulations et/ou des interventions sur ces couches, et implique donc des risques supplémentaires de défauts de fabrication.

20 Les défauts peuvent se traduire en particulier par des écarts d'épaisseurs d'une couche par rapport aux spécifications d'épaisseurs requises par le fabriquant.

Ces défauts sont à l'origine de nombreux rejets de couches, du fait que l'épaisseur moyenne de la couche ne correspond pas aux spécifications
 25 d'épaisseur, notamment en termes :

- d'épaisseur moyenne de la couche,
- et/ou d'uniformité de l'épaisseur à la surface d'une même couche (uniformité dite « within wafer » selon la terminologie anglo-saxonne, que l'on traduira dans ce texte par « uniformité intracouche »),

On précise en outre que les couches sont habituellement fabriquées par lots, et qu'il est également souhaité de respecter des spécifications d'uniformité d'épaisseur entre les différentes couches d'un même lot (uniformité « wafer to wafer » selon la terminologie anglo-saxonne, que l'on traduira dans ce texte par

5 « uniformité intercouches »).

Des étapes de contrôle d'épaisseur mettant en œuvre des techniques de mesures d'épaisseur des couches minces sont donc habituellement instaurées entre chaque étape d'élaboration, tout au long de la chaîne de fabrication.

Ces étapes de contrôle impliquent le rejet des couches qui présentent

10 des défauts d'épaisseur préjudiciables au bon fonctionnement des futurs composants électroniques.

Reprenant l'exemple des principales étapes du procédé de type Smart-Cut® d'élaboration de SOI illustré sur la figure 1, les étapes de contrôle d'épaisseur sont schématisées par des losanges 107 et sont situées en aval de

15 chaque étape du procédé d'élaboration de SOI : après l'étape 101 d'oxydation, après l'étape 102 d'implantation ionique, après l'étape 103 de collage, après l'étape 104 de traitement thermique, après l'étape 105 de finition.

Si les épaisseurs mesurées d'un élément (substrat, couche ou ensemble des deux) sont satisfaisantes, l'élément passe à l'étape suivante. Sinon,

20 l'élément est rejeté en 108.

Ce type de procédé classique, incluant de multiples étapes de contrôle d'épaisseurs des couches, conduit à de grandes pertes de matériaux, ainsi qu'à un ralentissement conséquent de la chaîne de fabrication.

Une solution pour réduire ces inconvénients consisterait à assouplir les

25 contraintes de ces contrôles d'épaisseur successifs, en instaurant en fin de fabrication une correction d'épaisseur.

Une telle correction d'épaisseur pourrait par exemple comprendre les opérations suivantes, pour chaque couche :

- acquisition d'au moins une mesure d'épaisseur de la couche,

- détermination de spécifications de correction d'épaisseur à appliquer à la couche, en fonction de(s) mesure(s) d'épaisseur acquise(s),
- correction de l'épaisseur de la couche selon lesdites spécifications de correction.

5 Il serait en effet possible de calculer pour chaque couche des spécifications de correction d'épaisseur « personnalisées », en fonction des mesures effectuées sur la couche et d'une cible d'épaisseur désirée pour la couche.

Un tel calcul devrait alors être répété pour chaque couche, de manière à
10 recréer pour chaque couche des spécifications de correction d'épaisseur.

Or, ceci correspondrait à une quantité de calculs qui ne sont pas nécessaires dans certains cas.

En particulier, dans le cas de la fabrication de couches par lots, les couches d'un même lot peuvent présenter avant correction des épaisseurs
15 relativement similaires, du fait que ces couches ont généralement subi ensemble les étapes précédentes du procédé d'élaboration (recuits, etc...).

Dans un tel cas, la répétition de calculs complets de manière à recréer des spécifications individuelles pour chaque nouvelle couche du lot peut ainsi correspondre à un gaspillage de ressources de calcul, et de temps.

20 Et on pourrait de manière générale souhaiter alléger et simplifier l'opération de détermination de spécifications de correction d'épaisseur à appliquer à la couche.

En effet, les cibles en termes d'épaisseur de couche, bien qu'étant strictes, autorisent cependant des tolérances. Il n'est ainsi pas réellement
25 nécessaire de créer des spécifications de correction d'épaisseur individualisées pour chaque couche, pour autant que les spécifications de correction associées à chaque couche permettent de commander une opération de correction d'épaisseur permettant d'atteindre la cible d'épaisseur, moyennant les tolérances.

Le but de l'invention est de répondre au besoin décrit ci-dessus.

Afin d'atteindre ce but, l'invention propose selon un premier aspect un procédé de correction de l'épaisseur d'une couche mince de matériau semiconducteur, comprenant les opérations suivantes :

- 5
 - acquisition d'au moins une mesure d'épaisseur de la couche,
 - détermination de spécifications de correction d'épaisseur à appliquer à la couche, en fonction de(s) mesure(s) d'épaisseur acquise(s),
 - correction de l'épaisseur de la couche selon lesdites spécifications de correction,
- 10 caractérisé en ce que la détermination des spécifications de correction comprend :
 - l'établissement d'un profil d'épaisseur de la couche, à partir des mesures d'épaisseur acquises,
 - la comparaison dudit profil avec des profils-types mémorisés, chaque
 - 15 profil-type étant mémorisé en association avec des spécifications de correction d'épaisseur (ou recettes) respectives, et
 - la sélection d'un profil-type mémorisé, pour associer à la couche dont on souhaite corriger l'épaisseur, les spécifications de correction d'épaisseur mémorisées en association avec le profil-type choisi.
- 20 Des aspects préférés, mais non limitatifs du procédé selon l'invention sont les suivants :
 - le procédé comprend une configuration permettant d'établir des associations entre les profils-types mémorisés et les recettes,
 - ladite configuration est réalisée par un algorithme dont une donnée d'entrée
 - 25 est une spécification-cible de profil d'épaisseur (ou « cible ») établie pour la fabrication de couches,
 - les mesures d'épaisseurs, les profils-types et la cible sont définis selon des maillages identiques,

- à chaque changement de cible, l'algorithme de configuration est automatiquement réactivé pour établir une nouvelle configuration définissant des correspondances entre les profils-types et les recettes,
- le procédé comprend la mémorisation d'au moins une configuration,
- 5 • le procédé comprend la mémorisation de plusieurs configurations, ainsi que la sélection d'une configuration désirée,
- les profils-types et/ou les recettes font l'objet d'un classement selon une arborescence définissant des catégories et sous catégories avec un nombre de niveaux désiré,
- 10 • on peut sélectionner des zones de l'arborescence de profils-types dans lesquelles chercher pour réaliser la sélection d'un profil-type,
- l'arborescence des recettes est définie par des niveaux de détail de plus en plus fins en descendant l'arborescence,
- pour établir une configuration, l'algorithme de configuration cherchant une
15 recette à associer à un profil-type ne cherchera pas dans toutes les recettes, mais sélectionnera d'abord des catégories de recettes en fonction des écarts d'épaisseur entre la cible et le profil-type,
- on établit pour la configuration un lien entre un niveau donné d'une arborescence de profils-types (« niveau de départ ») et un niveau donné
20 d'une arborescence de recettes (« niveau d'arrivée »), de sorte que pour chaque profil-type rattaché à une catégorie donnée de ce niveau de départ, il existe une catégorie du niveau d'arrivée des recettes, et lors de la configuration, toute recherche d'une recette pour un profil-type de ce niveau de départ sera automatiquement dirigée vers ladite catégorie de niveau
25 d'arrivée, la recherche se poursuivant ensuite en descendant l'arborescence des recettes,
- l'arborescence des recettes est définie par paramètres de recettes,
- dans l'arborescence des recettes les catégories de plus haut niveau de recettes comprennent :

- une première catégorie de plus haut niveau de recettes qui définissent une spécification de correction d'épaisseur uniforme pour toute la surface de la couche,
 - et d'autres catégories de plus haut niveau, selon des paramètres globaux de répartition des spécifications de correction d'épaisseur sur cette surface,
- 5
- la correction de l'épaisseur de la couche fait intervenir une oxydation sacrificielle,
 - les couches sont traitées par lots, l'épaisseur d'une couche d'un lot étant mesurée tandis que l'épaisseur une couche précédant ladite couche mesurée dans le lot avec un pas donné est corrigée,
- 10
- les couches d'un même lot partageant une même cible d'épaisseur finale, la sélection de recette pour chaque couche est individualisée de manière à obtenir pour le lot, une fois la correction d'épaisseur effectuée, une
- 15
- épaisseur moyenne de couche la plus proche de la cible commune,
 - des recettes correspondent à une modification d'épaisseur uniforme sur toute la couche,
 - des recettes correspondent à une modification d'épaisseur différenciée sur la surface de la couche,
- 20
- Selon un deuxième aspect, l'invention propose également un dispositif de mise en œuvre d'un procédé du type mentionné ci-dessus, caractérisé en ce que le dispositif comprend :
- des moyens de mesure d'épaisseur,
 - des moyens de correction d'épaisseur,
- 25
- une unité de traitement, associée à des moyens de mémorisation, et reliée aux moyens de mesure d'épaisseur pour en recevoir des mesures réalisées sur les couches ainsi qu'aux moyens de correction d'épaisseur pour leur transmettre des spécifications de correction d'épaisseur.

Des aspects préférés, mais non limitatifs d'un tel dispositif sont les suivants :

- les moyens de mesure d'épaisseur comprennent un ellipsomètre,
- les moyens de mesure d'épaisseur comprennent un réflectomètre,
- les moyens de mesure d'épaisseur comprennent un dispositif de type
5 ACUMAP™,
- les moyens de correction d'épaisseur comprennent un dispositif de type
RTP XE Ceritura™.

D'autres aspects, buts et avantages, de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit, faite en référence aux dessins
10 annexés sur lesquels, outre la figure 1 citée en introduction et qui représente schématiquement les étapes d'un procédé d'élaboration de structures SOI selon l'état de la technique antérieure à la présente invention :

- La figure 2 représente schématiquement les étapes d'une variante selon la présente invention d'un procédé d'élaboration de structures SOI de type
15 Smart-Cut®,

- La figure 3 est un schéma illustrant un exemple d'association établie entre deux types de paramètres qui peuvent être mémorisés pour mettre en œuvre l'invention, lors de l'opération de déduction des spécifications de correction d'épaisseur à partir de l'opération de mesure d'une couche mince,

- La figure 4 est un schéma illustrant l'exploitation faite de l'association mentionnée ci-dessus à propos de la figure 3,

- La figure 5 représente schématiquement les étapes d'une oxydation sacrificielle d'une couche mince sur substrat,

- La figure 6 représente une vue en perspective d'un dispositif RTO (pour
25 l'acronyme anglo-saxon Rapid Thermal Oxidation - oxydation thermique rapide), mis en œuvre dans l'invention pour la correction d'épaisseur,

- La figure 7 représente schématiquement une vue en coupe transversale d'une chambre d'oxydation thermique d'un dispositif RTO, à pression atmosphérique.

- La figure 8 représente schématiquement une vue en coupe transversale d'une chambre d'oxydation thermique d'un dispositif RTO, à pression réduite,
- La figure 9 représente, dans un dispositif RTO, des répartitions schématiques de lampes et de sondes entourant des couches minces pouvant avoir des diamètres différents,
- La figure 10 représente un schéma de principe du fonctionnement d'un dispositif RTO,
- La figure 11 représente la progression dans le temps d'épaisseurs de couches d'oxyde de silicium formées par RTO pour différentes concentrations de H_2 du gaz oxydant, à pressions réduites et pour une température d'oxydation fixée à 1050°C,
- La figure 12 représente la progression dans le temps d'épaisseurs de couches d'oxyde de silicium formées par RTO pour différentes températures d'oxydation, à pression de 10 Torr et pour une concentration de H_2 fixée à 33% du gaz oxydant,
- La figure 13 représente schématiquement une comparaison en épaisseurs de couches entre un lot de couches n'ayant pas subi de correction d'épaisseur, et le même lot après traitement par oxydation sacrificielle,
- La figure 14 représente des épaisseurs d'oxyde de silicium, aux tolérances près, formées par RTO pour 700 couches minces, sous oxydation sèche à 1100°C et en 60 secondes.

En préalable à la description qui suit, on précise que par « couche mince » on entend dans ce texte une couche de matériau présentant une épaisseur pouvant aller de quelques angströms à quelques dizaines de microns.

Une telle couche mince est typiquement réalisée en un matériau semiconducteur tel que du silicium, de préférence par un procédé de type Smart-Cut®.

Cette couche mince est avantageusement solidaire d'un support appelé substrat qui permet en particulier de rigidifier l'ensemble couche-substrat (encore appelé tranche).

5 Ce substrat peut avantageusement comporter un semi-conducteur (par exemple du silicium), ou un empilement de couches semi-conductrices, ou encore des structures non homogènes ou des composants ou des parties de composants à ces niveaux plus ou moins avancés de leur élaboration.

10 En référence maintenant à la figure 2, on a illustré un exemple de procédé d'élaboration de couches minces selon l'invention, mettant en œuvre les principales étapes de Smart-Cut®.

15 Les couches minces de cet exemple sont des couches de silicium d'un SOI. Toutefois, l'invention s'applique à l'élaboration de tous types de couches minces. Et elle n'est pas non plus limitée à une variante d'un procédé de type Smart-Cut®, mais s'applique à tout type de procédé d'élaboration de couche mince.

Toujours en référence à la figure 2, on remarque que par rapport à la représentation de la figure 1, on a supprimé les étapes de contrôle 107, et évité ainsi de multiplier les pertes et ralentissements du procédé qui en découlent.

20 On précise toutefois qu'il est éventuellement possible de maintenir dans certaines variantes de l'invention une ou plusieurs étapes de contrôle intermédiaire 107, selon les besoins spécifiques du procédé¹.

Dans le cas de l'invention, c'est en tout état de cause lors de la finition (référéncée ici 105') qu'on intervient sur l'épaisseur des couches.

25 Comme représenté sur la figure 2, la finition 105' comporte une étape 1050' de correction d'épaisseur, qui comporte elle-même trois opérations s'appliquant à chaque couche :

- acquisition 1051' d'au moins un profil de mesure d'épaisseur de la couche,

¹ Valider cet aspect SVP.



- déduction 1052' de spécifications de correction d'épaisseur à appliquer à la couche, à partir du profil de mesure d'épaisseur mesuré en 1051',
- correction d'épaisseur de couche 1053' selon lesdites spécifications.

On précise que par « profil » on entend une représentation de l'épaisseur
 5 caractéristique d'une couche.

Un tel profil peut être constitué d'un maillage bi-dimensionnel : couvrant toute la surface de la couche. Dans ce cas, un profil de mesure d'épaisseur de la couche consistera en une série de mesures effectuées aux nœuds du maillage.

10 Il est toutefois possible d'adapter la définition du profil, en fonction de la capacité des machines, du niveau de détails souhaité, et des cadences que l'on souhaite obtenir en particulier.

On pourra ainsi définir de la manière la plus simple un « profil » comme un point de mesure unique.

15 Et comme on le verra ci-dessous, la notion de « profil » concerne non seulement les mesures réalisées sur les couches, mais de la même manière les spécifications de correction d'épaisseur qui seront transmises aux moyens de correction d'épaisseur pour la mise en œuvre de l'opération 1053'.

L'opération de correction d'épaisseur 1053' peut être réalisée par tout
 20 moyen. Elle met de préférence en œuvre une oxydation sacrificielle, comme cela sera détaillé plus loin dans ce texte.

L'étape 1050' de correction d'épaisseur peut être suivie d'une finition supplémentaire 1054', mettant en œuvre par exemple un polissage.

On a également représenté sur la figure 2 une étape de mise au rebut
 25 108, qui peut éventuellement faire suite à l'opération de déduction de spécifications 1052'², au cas où le profil de mesure d'épaisseur de couche acquis en 1051' ne permettrait pas d'appliquer à la couche une correction adéquate pour obtenir un profil d'épaisseur de couche souhaité en sortie de

² Valider cet aspect S'/P

procédé.

5

Acquisition de profil de mesure

Après avoir créé des couches minces lors des étapes 101 à 104 (qui sont identiques à celles décrites en référence à la figure 1), on réalise la finition de chaque couche mince en 105'.

Pour cela, on exécute tout d'abord une étape 1050'.

10

Cette étape 1050' débute par une acquisition 1051' d'au moins une mesure d'épaisseur d'une couche précédemment élaborée au moyen, par exemple, d'un réflectomètre ou d'un ellipsomètre.

Cette acquisition de mesure d'épaisseur de la couche mince peut être réalisée par un dispositif tel qu'un réflectomètre ACUMAP™ de la société ADE,

15

capable de mesurer 30000 couches en 60 secondes.

A l'issue de l'opération 1051', on dispose ainsi pour chaque couche mince d'un profil d'épaisseur, qui est une cartographie de l'épaisseur de la couche.

20

On précise que dans un contexte de fabrication industrielle par lots, une couche du lot peut ainsi subir une mesure d'épaisseur, alors que la couche précédente du lot (ou qu'une couche précédente du lot, avec un nombre de couches déterminé entre les deux couches) subit l'opération ultérieure 1053' de correction d'épaisseur que l'on va décrire plus bas dans ce texte.

25

En tout état de cause, le profil mesuré est transmis par le dispositif de mesure d'épaisseur à une unité de traitement, qui est par ailleurs reliée à des moyens de mémorisation aptes à mémoriser les profils mesurés pour chaque couche.

On précise à cet égard que le dispositif permettant de mettre en œuvre

l'invention comporte ainsi :

- des moyens de mesure d'épaisseur – pouvant consister comme on l'a dit en une machine de type ACUMAP™,
- 5 • des moyens de correction d'épaisseur – au sujet desquels on donnera des détails plus bas dans ce texte,
- une unité de traitement, associée à des moyens de mémorisation (ou « mémoire »), et reliée aux moyens de mesure d'épaisseur (pour en recevoir des mesures réalisées sur les couches) ainsi qu'aux moyens de correction d'épaisseur (pour leur transmettre des spécifications de
- 10 correction d'épaisseur).

Déduction de spécifications de correction d'épaisseur

L'opération suivante 1052' consiste à déduire des spécifications de correction d'épaisseur à partir du profil de mesure d'épaisseur.

- 15 C'est cette opération qui va permettre de traduire les mesures d'épaisseur effectuées sur chaque couche, en une commande des moyens de correction d'épaisseur.

En référence à la figure 3, cette opération de déduction de spécifications de correction d'épaisseur utilise une « bibliothèque » 40 de spécifications-types de correction d'épaisseur 41 à 49 (que l'on nommera « recettes » dans la suite de ce texte), mémorisée de manière permanente dans les moyens de

20 mémorisation mentionnés ci-dessus, référencés 500.

Chaque recette est un jeu de spécifications destiné à être fourni au dispositif de correction d'épaisseur qui sera mis en œuvre lors de l'opération

25 1053', pour commander l'action de ce dispositif.

L'opération 1052' consiste ainsi dans ce cas à sélectionner parmi les recettes mémorisées de la bibliothèque 40, celle qui est le mieux adaptée.

Dans un mode de réalisation, on utilise pour effectuer une telle sélection

une liste 20 de profils-types d'épaisseur (21 à 27 dans l'exemple de la figure 3).

Et comme représenté sur la figure 3, des correspondances sont établies entre les profils-types d'épaisseur et les recettes. Plus précisément, à chaque profil-type est associée une recette unique.

5 L'ensemble des associations entre les profils-types et les recettes définit une « configuration » de l'unité de traitement.

On précise que pour une configuration donnée, plusieurs profils-types peuvent être associés à la même recette.

La configuration composée des associations entre les profils-types et les
10 recettes sont également mémorisées dans la mémoire 500.

Cette configuration établie par un algorithme, dit de configuration, qui est chargé dans l'unité de traitement.

Plus précisément, une des données d'entrée de cet algorithme de configuration est la spécification-cible de profil d'épaisseur (que l'on nommera
15 « cible » dans la suite de ce texte) qui est établie pour la fabrication de couches.

Cette cible peut être modifiée de temps à autre par un opérateur 600, à l'aide de moyens de saisie associés à l'unité de traitement.

Dans tous les cas, elle est mémorisée dans la mémoire 500 (et est
20 désignée par la référence 30).

Et à chaque changement de cible, l'algorithme de configuration mentionné ci-dessus est automatiquement réactivé pour établir une nouvelle configuration définissant des correspondances entre les profils-types de la liste 20, et les recettes de la bibliothèque 40 (ces profils-types et ces recettes
25 demeurant mémorisés de manière permanente dans la mémoire 500, et n'étant pas affectés eux-mêmes par les changements de cible).

A chaque nouvelle cible, ledit algorithme de configuration va donc associer à chaque profil-type d'épaisseur une recette, qui représente les spécifications de correction d'épaisseur les plus adaptées pour atteindre la cible
30 en partant de ce profil-type.

Par « spécifications de correction d'épaisseur les plus adaptées » on entend donc les spécifications qui permettraient d'obtenir une couche dont le profil d'épaisseur est le plus semblable au profil représenté par la cible, si on appliquait à une couche présentant un profil d'épaisseur correspondant au
 5 profil-type une correction d'épaisseur selon lesdites spécifications de correction d'épaisseur.

Cette association par l'algorithme de configuration prend donc en compte, outre la cible, les profils-types ainsi que les recettes.

Et les nouvelles associations sont ainsi mémorisées dans la mémoire
 10 500.

On précise qu'il est possible de mémoriser dans cette mémoire plusieurs configurations différentes, chaque configuration assignant une recette à chaque profil-type d'épaisseur.

Dans ce cas, des moyens sont prévus pour permettre à un utilisateur de
 15 sélectionner la configuration désirée.

On notera que la cible 30 et les profils-types de la liste 20 sont des paramètres représentant des grandeurs similaires, c'est à dire un profil d'épaisseur selon un maillage déterminé de la surface de la couche mince.

En effet, on comprend dans ce texte le terme de « profil d'épaisseur »
 20 par une série de valeurs d'épaisseur de couche, en des points déterminés de la couche.

Et comme mentionné ci-dessus, ces points sont répartis suivant un maillage de préférence bidimensionnel, mais possiblement monodimensionnel voire ponctuel (réduit à un point), de la surface de la couche. Ce maillage sert
 25 ainsi de base pour les profils :

- mesurés lors de l'opération 1051',
- profils-types mémorisés dans la liste 20,
- cible 30 également mémorisée.

Précisons toutefois qu'il est possible de prévoir que ces trois catégories

de profils soient mémorisés et exploités avec des niveaux de détail différents, dans une variante de l'invention³ (par exemple acquisition de mesures d'épaisseur selon un maillage très détaillé, et exploitation d'une cible définie sur un sous-maillage moins détaillé de ce maillage – on pourra ainsi typiquement
 5 avoir une cible constituée d'une valeur unique d'épaisseur pour toute la couche).

Dans un mode de réalisation, ces trois catégories de profils sont toutefois mémorisés et exploités avec le même niveau de détails dans le dispositif permettant de mettre en œuvre l'invention.

10 On comprend donc qu'à tout moment donné, sont mémorisés dans la mémoire 500 :

- des informations « permanentes » - qui peuvent cependant être réactualisées :

- liste 20 de profils-types,
- 15 ➤ bibliothèque 40 de recettes,
 - ainsi qu'une cible 30 et au moins une configuration, une seule de ces configurations étant sélectionnée à tout moment.

En référence maintenant à la figure 4, on va décrire la manière dont cette configuration est exploitée pour réaliser l'opération 1052'.

20 Considérant une couche mince 201 (voir figure 5) à finaliser, on considère à cet égard qu'on cherche à obtenir, après avoir réalisé la correction d'épaisseur 1053' selon la recette qui sera sélectionnée en 1052' suite à la mesure qui a été faite en 1051' de l'épaisseur de la couche mince, une couche mince finie dont le profil d'épaisseur soit le plus semblable possible à la cible 30
 25 mémorisée dans la mémoire 500.

Revenant à l'opération 1052' de déduction de recette, cette opération s'effectue selon deux niveaux.

Le premier niveau correspond à l'algorithme décrit ci-dessus – il s'agit de

³ à valider SVP

configurer le dispositif en définissant des associations entre les profils-types et les recettes pour une cible donnée.

Cet algorithme de configuration est comme on l'a dit exécuté lors de tout changement de cible (par exemple pour traiter de manière spécifique un lot de 5 couches minces).

Cet algorithme de configuration peut par exemple réaliser les tâches suivantes :

- pour chaque profil-type, évaluation des différences de valeurs d'épaisseur entre le profil-type et le profil cible 30. Ces différences 10 d'épaisseur correspondent alors aux corrections d'épaisseur à effectuer sur le profil-type pour obtenir un profil similaire à celui de la cible 30,
- déduction, pour chaque profil-type, d'une recette la plus appropriée pour effectuer les corrections d'épaisseur précédemment évaluées.

A chaque profil-type (de 21 à 27) est alors associée une recette (de 41 à 15 49) ; dans notre exemple purement illustratif, les associations suivantes ont été déduites :

21 et 43 ; 22 et 46 ; 23 et 42 ; 24 et 49 ; 25 et 41 ; 26 et 47 ; 27 et 44.

Un utilisateur 600 peut comme on l'a dit modifier des paramètres mémorisés en 500, par exemple le profil cible 30, des profils-types (de 21 à 27) 20 et/ou des recettes (de 41 à 49), et ce par l'intermédiaire d'une interface utilisateur-support mémoire (telle qu'un clavier et un écran).

Ces changements peuvent consister en des ajouts, des effacements et/ou des transformations de paramètres.

Après une telle modification l'utilisateur peut déclencher une 25 reconfiguration du dispositif – c'est à dire une exécution de l'algorithme de configuration – pour établir de nouvelles associations.

Le deuxième niveau de l'opération 1052', en référence à la figure 4, concerne une sélection de recette (de 41 à 49) en fonction d'une cible 30 mémorisée et d'un profil de mesure 60 obtenu en 1051' à partir d'une couche

mince 201.

Ce deuxième niveau ne s'effectue qu'une fois le dispositif configuré comme expliqué ci-dessus.

Cette déduction de recette se déroule en deux étapes :

- 5 • sélection 70 parmi les profils-types de la liste 20 mémorisée, d'un profil-type le plus semblable au profil mesuré 60. Ceci peut se faire suite à l'évaluation des différences des valeurs d'épaisseur entre le profil mesuré 60 et chacun des profils-types, suivant un maillage donné (par exemple le maillage définissant les profils-types, ou un sous-maillage de ce maillage),
- 10 • Déduction 80 de la recette 41 à 49 associée au profil-type 21 à 27, grâce à l'association fournie par la configuration sélectionnée (on précise à cet égard que l'unité de traitement est reliée aux différents champs de la mémoire 500).

- 15 Dans notre exemple, le profil-type le plus semblable au profil mesuré 60 est référencé 23, et la recette associée est donc référencée 42.

Et la recette déduite 42 comprend des paramètres aptes à commander la correction d'épaisseur adaptée au profil de mesure 60.

- 20 Pour ajuster au plus près les épaisseurs obtenues par application des recettes sélectionnées, on pourra augmenter la taille de la liste 20 de profils-types et de la liste 40 de recettes.

- 25 Il est également possible dans cette perspective d'adapter, par exemple pour certains lots de couches minces, les listes de profils-types et de recettes que l'on exploite pour sélectionner une recette à partir des mesures d'épaisseur.

Dans une variante de réalisation de l'invention, les listes 20 et/ou 40 de profils-types et de recettes font ainsi l'objet d'un classement particulier, par exemple selon une arborescence définissant des catégories et sous catégories (avec un nombre de niveaux désiré).

Il est dans ce cas possible de regrouper par exemple les profils-types en catégories de profils similaires, selon une arborescence de catégories, sous-catégories, etc.. dont les feuilles (le niveau le plus bas) sont des listes 20 de profils-types.

- 5 On peut par exemple définir une catégorie par des caractéristiques très générales de profil-type, et retenir des caractéristiques de plus en plus détaillées pour définir les groupements de niveau inférieur dans l'arborescence.

Et on peut sélectionner – toujours par l'intermédiaire d'une interface du dispositif – des zones de l'arborescence de profils-types dans lesquelles
10 chercher pour réaliser la sélection 70.

On peut ainsi éviter de chercher à comparer les couches d'un certain lot avec des profils-types qui ne présenteront pas les mêmes caractéristiques générales, et ne chercher que dans les catégories contenant des profils-types similaires aux profils attendus des couches que l'on mesure.

- 15 Dans ce cas, la sélection 70 se fait en autant de pas que l'arborescence comprend de niveaux – un pas de sélection initial permettant de sélectionner une catégorie de niveau le plus élevé de l'arborescence, chaque pas suivant permettant de sélectionner une sous-catégorie, sous-sous catégorie, etc.. en descendant à chaque fois l'arborescence d'un niveau, jusqu'à sélectionner la
20 liste de profils-types adéquate, et enfin le profil-type le mieux adapté.

En tout état de cause, une configuration unique est sélectionnée pour chaque liste de profils-types susceptible d'être explorée pour la sélection d'un profil-type ; et une fois le profil-type sélectionné, c'est cette configuration de la liste comprenant le profil-type qui sera utilisée pour déduire une recette.

- 25 Cette sélection en pas successifs permet de répertorier le profil mesuré
60 dans des catégories successives, de plus en plus détaillées et précises, en termes de spécifications d'épaisseur.

Elle offre ainsi l'avantage de gagner en efficacité et en rapidité lors de l'étape de déduction du profil-type mémorisé le plus semblable au profil mesuré
30 60.

D'autres variantes peuvent également exister et concernent le même type de fonctionnement de l'opération 1052' non pas au deuxième niveau, mais au premier niveau.

Il est en effet possible de ventiler de manière similaire l'ensemble des
 5 profils-types en plusieurs listes 20 regroupées en une arborescence de profils-types, et/ou de ventiler l'ensemble des recettes en plusieurs listes 40 regroupées en une arborescence de recettes, pour mettre en œuvre l'algorithme de configuration.

Dans ce cas en effet, pour établir une configuration, l'algorithme de
 10 configuration cherchant une recette à associer à un profil-type ne cherchera pas dans toutes les recettes, mais sélectionnera d'abord des catégories de recettes en fonction des écarts d'épaisseur entre la cible et le profil-type (c'est à dire en sélectionnant une catégorie de recettes définissant des recettes correspondant le mieux possible à ces écarts).

15 Ici encore, l'arborescence des recettes est définie par des niveaux de détail de plus en plus fins en descendant l'arborescence (c'est à dire par exemple en définissant les catégories de haut niveau par peu de paramètres de correction d'épaisseur, et en aboutissant en bas d'arborescence à une définition plus complète de la recette).

20 Et il est également possible d'établir pour la configuration un lien entre un niveau donné d'une arborescence de profils-types (« niveau de départ ») et un niveau donné d'une arborescence de recettes (« niveau d'arrivée ») : dans ce cas, pour chaque profil-type rattaché à une catégorie donnée de ce niveau de départ, il existe une catégorie du niveau d'arrivée des recettes.

25 Et lors de la configuration, toute recherche d'une recette pour un profil-type de ce niveau de départ sera automatiquement dirigée vers ladite catégorie de niveau d'arrivée (la recherche se poursuivant ensuite en descendant l'arborescence des recettes).

On peut aussi lors de la configuration associer à une liste 20 de profils-
 30 types la même recette, ou la même liste 40 de recettes – ou de manière

générale le même regroupement à un niveau quelconque de l'arborescence des recettes.

On peut faire de même pour toute liste 20 de profils-types – ou de manière générale pour tout regroupement à un niveau quelconque de l'arborescence des profils-types.

Il est également possible de définir une arborescence des recettes non pas par niveaux de détails successifs, mais par paramètres de recettes.

On peut ainsi définir par exemple :

- une première catégorie de plus haut niveau de recettes qui définissent une spécification de correction d'épaisseur uniforme pour toute la surface de la couche,
- et d'autres catégories de plus haut niveau, selon des paramètres globaux de répartition des spécifications de correction d'épaisseur sur cette surface. Par exemple :
 - réduction d'épaisseur plus (ou au contraire moins) importante dans une région centrale de la couche,
 - réduction d'épaisseur plus (ou au contraire moins) importante dans un secteur angulaire donné de la couche,
 - etc...

Et les considérations ci-dessus à, propos de l'établissement de liens entre les profils-types et les recettes demeurent applicables, quelles que soient les arborescences retenues.

Dans tous les cas, les deux niveaux décrits ci-dessus – configuration et sélection d'une recette pour chaque couche mesurée – correspondent à l'opération 1052'.

Dans un mode préférentiel, l'opération de déduction 1052' est mise en œuvre par un dispositif intégrant des composants électroniques aptes à mémoriser et à exécuter au moins un programme logique, lui-même apte à mettre en œuvre au moins une partie de l'opération de déduction ; il peut s'agir,

par exemple, de l'exécution de programmes binaires par un ordinateur.

Correction d'épaisseur

L'opération 1053' comprend au moins une correction d'épaisseur de la
5 couche selon les spécifications de correction d'épaisseur précédemment
dédultes en 1052'.

La correction d'épaisseur peut utiliser par exemple un traitement de
couche par oxydation sacrificielle.

On précise qu'on trouvera dans le document FR 2 777 115 une
10 description d'un traitement de couche par oxydation sacrificielle.

Un mode de traitement en épaisseur d'une couche mince selon le
procédé d'oxydation sacrificielle comprend une étape de formation d'une
couche d'oxyde à la surface de la couche, une étape de recuit, et une étape de
désoxydation.

15 Dans l'exemple d'une tranche 200 comprenant une couche mince de
semi-conducteur 201 sur un substrat support 202 comme représenté sur la
figure 5, l'oxydation sacrificielle est mise en œuvre pour réduire une zone
perturbée 203 à la surface de la couche (figure 5a), cette zone perturbée offrant
une trop grande difformité d'épaisseur de couche.

20 Ladite zone perturbée 203 peut par exemple provenir de l'étape de
fracture d'un procédé Smart-Cut® (décrit en introduction), cette zone
correspondant alors à la partie de la zone d'implantation restante.

En référence à la figure 5b, la couche 201 est oxydée par traitement
thermique pour former une couche d'oxyde 204. Cette couche d'oxyde 204 se
25 développe au voisinage de la surface de la couche 201 au niveau de la zone
perturbée 203.

Au cours du traitement thermique, l'interface entre l'oxyde et le silicium
progressive en profondeur dans le silicium, en lissant progressivement la rugosité
de la surface de la couche 201.

Une étape de recuit du substrat permet alors de guérir la couche de semi-conducteur 201 des défauts engendrés au cours de l'oxydation et au cours des étapes précédentes du procédé d'élaboration de couche mince.

En référence à la figure 5c, une étape de désoxydation suit le recuit.

- 5 La couche d'oxyde 204 est lors de cette étape généralement consommée par voie chimique. A titre d'exemple, pour enlever mille à quelques milliers d'Angströms, la tranche 200 est plongée dans un bain d'acide fluorhydrique à 10 ou 20 %, pendant quelques minutes.

10 Au final, on obtient une couche mince 201, figure 5c, ayant une épaisseur moins importante et plus uniforme que la couche mince 201, figure 5a.

Le procédé d'oxydation sacrificielle décrit ci-dessus n'est qu'une variante des procédés exposés dans le document FR 2 777 115 ; la présente invention n'est pas limitative à cette variante et s'étend à tous les autres procédés
15 d'oxydation sacrificielle.

La technique de traitement thermique d'oxydation (figure 5b) peut être :

- une oxydation thermique de la zone perturbée 203 de la couche de semi-conducteur 201,
- ou bien encore un dépôt d'un oxyde en surface de la couche de semi-
20 conducteur 201, suivi d'une oxydation thermique du semi-conducteur à travers la couche d'oxyde déjà déposée.

Dans tous les cas, l'oxyde peut être composé d'éléments du matériau semi-conducteur et d'autres éléments tels que de l'azote, etc.

25 Les paramètres principaux des techniques de traitement thermique d'oxydation sont la température et la durée d'oxydation.

D'autres paramètres importants sont le caractère oxydant de l'atmosphère, la teneur en oxygène et les conditions de pression du traitement.

Ces paramètres peuvent être bien contrôlés, ce qui confère à cette application du procédé une bonne reproductibilité.

Ce procédé est aussi souple d'utilisation et compatible avec l'ensemble des procédures habituelles de traitement de couches minces ou de tranches pour la fabrication de composants pour la micro-électronique.

Les figures 6 à 10 présentent un traitement particulier de couche mince
5 par oxydation sacrificielle au moyen d'une technique d'oxydation thermique rapide (ou RTO, acronyme anglo-saxon de Rapid Thermal Oxidation).

Le dispositif de traitement de couches minces par oxydation sacrificiel qui va servir de base à cette description est un dispositif du type RTP
XE Centura, de la société Applied Material®.

10 Ce dispositif comprend notamment une chambre d'oxydation 400 apte à contenir au moins une couche mince de semi-conducteur ou une tranche comprenant une couche mince de semi-conducteur.

La couche mince ou la tranche est supportée, à l'intérieur de la chambre d'oxydation, par un plateau annulaire 403 plat, généralement en carbure de
15 silicium.

Au-dessus de la couche mince se trouve un système de chauffage comprenant plusieurs lampes 401, chacune étant généralement placée à l'intérieur de tubes légers.

Ces lampes 401 sont préférentiellement de type halogène.

20 Ces lampes 401 sont avantageusement disposées de sorte à recouvrir la surface de la couche mince.

Du fait de la très forte chaleur dégagée par ce système de chauffage (de l'ordre de 1000°C), il est recommandé d'installer un circuit de refroidissement 407 dans la paroi de la chambre d'oxydation 400, afin d'évacuer la chaleur et
25 d'éviter ainsi d'éventuelles brûlures aux parois externes de la chambre 400.

Une fine fenêtre 402, généralement en quartz, sépare les lampes 401 de la chambre des gaz 407 oxydants, la chambre des gaz 407 étant l'espace libre situé au-dessus de la couche mince (voir figure 7 et figure 8).

Au moins deux ouvertures 409 et 410, généralement en vis à vis, sont
30 pratiquées dans la paroi de la chambre d'oxydation 400 au niveau de la

chambre des gaz 407, chacune d'entre elles étant aptes à être reliée hermétiquement à un système de pompage, afin de permettre l'entrée 301 et la sortie 302 respectives des gaz oxydants de la chambre des gaz 407.

Un cylindre 406, préférentiellement creux et préférentiellement en quartz, 5 situé en dessous du support 403 et solidaire de celui-ci est apte à opérer une rotation autour de l'axe du cylindre par rapport à la chambre d'oxydation 400.

Le cylindre 406 permet ainsi de faire tourner la couche mince sous les lampes 401, et d'obtenir un traitement thermique aussi uniforme que possible appliqué à toute la couche en permettant de s'affranchir des effets de toute 10 inhomogénéité locale thermique.

Ceci est particulièrement avantageux lorsqu'on désire appliquer à une couche une recette homogène sur la surface de la couche.

Un système de mesure en température est également installé dans la chambre, généralement placé sous la couche mince et/ou la tranche.

15 Il comprend préférentiellement un plateau de réflectance 405 apte à amplifier les informations de rayonnements thermiques pour que des capteurs 404 capturent les informations thermiques et les transmettent à une unité de contrôle reliée à l'unité de traitement.

Les capteurs 404 sont disposés pour mesurer le profil de température 20 des gaz oxydants à proximité de la surface de la couche mince.

Les capteurs 404 sont préférentiellement des fibres optiques, et sont donc destinés à transmettre l'information optique des rayons thermiques, prélevés à proximité du plateau de réflectance 405, à une unité de contrôle.

En référence à la figure 7, les gaz entrés en 301 se retrouvent pendant 25 une durée déterminée dans une chambre des gaz 407 portée à une température de consigne. La sortie des gaz se fait en 302.

Comme expliqué ci-dessus, une fois la nature du gaz, la teneur en oxygène de l'atmosphère et la pression fixées, ce sont ces paramètres durée de temps et température qui vont déterminer en temps réel l'épaisseur

moyenne d'oxyde formée dans une couche mince 201, comme l'illustre la figure 12.

Cette figure montre en effet les progressions en épaisseur (en ordonnée) de couches minces pour différentes durées d'oxydation (en abscisse) – et ce pour différentes températures d'oxydation correspondant aux différentes courbes.

Plus la température d'oxydation est élevée, plus l'épaisseur moyenne de couche oxydée est élevée, et ce pour une même durée d'oxydation fixée à une certaine valeur.

Plus la durée d'oxydation est grande, plus l'épaisseur moyenne de couche oxydée est élevée, et ce pour une température fixée à une certaine valeur.

On assure par ailleurs le contrôle de la température, en régulant individuellement l'alimentation des lampes 401.

L'ajustement électrique individualisé pour chaque lampe permet ainsi d'établir un profil de température différencié et prédéterminé sur toute la surface de la couche mince.

Ceci est illustré sur la figure 9, pour trois types de taille de couches minces 206, 207 et 208, chacune en forme de disque.

Les lampes sont classées en douze catégories, numérotées de 1 à 12 allant des lampes surplombant la zone centrale vers les lampes surplombant les zones périphériques des couches 206, 207 et 208. Chaque numéro de lampe correspond, dans cet exemple, à une température de lampe.

La température obtenue en un point de la surface de la couche dépendant d'abord de la lampe la plus proche mais aussi des lampes voisines, la zone centrale de la couche sera donc plus chaude que sa zone périphérique dans le cas d'une alimentation uniforme de toutes les lampes (c'est à dire si tous les numéros de lampes sont les mêmes).

Si on souhaite une température uniforme (et donc une oxydation uniforme) sur toute la surface de la couche 206, 207 ou 208, on alimente les

lampes centrales de manière à ce que celles-ci soient moins chaudes que les lampes périphériques.

Si on souhaite au contraire obtenir des températures différenciées (et donc une oxydation différenciée) sur la surface de la couche 206, 207 ou 208, il suffit d'adapter les alimentations de chaque lampe dans le but d'obtenir le profil en température souhaité.

Et cette différenciation sélective des alimentations de chaque lampe découle directement des commandes correspondant à la recette sélectionnée, commandes qui ont été transmises au dispositif de correcteur d'épaisseur par l'unité de traitement.

On précise par ailleurs que les principaux paramètres caractérisant l'oxydation sacrificielle peuvent être suivis et pris en compte par l'unité de traitement, qui gère le dispositif de correction.

A ces fins, l'unité de traitement est reliée aux différents capteurs qui permettent de caractériser le déroulement des opérations d'oxydation sacrificielle (en particulier temps et différentes sondes de températures).

Les opérations d'ajustement en température peuvent en effet être facilitées par des mesures en température au moyen de capteurs 404, référencés ici P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 et P8, au voisinage de la couche.

La durée d'oxydation sacrificielle est également définie dans la commande transmise par l'unité de traitement au dispositif de correction d'épaisseur suite à la sélection d'une recette.

Cette durée d'oxydation est déterminée grâce en particulier à des valeurs de référence préétablies à partir de liste de mesures précédemment effectuées, et mémorisées dans l'unité de traitement.

Ces mesures précédemment effectuées comprennent :

- des mesures de durée de séquence machine connue (par exemple la durée entre le temps d'entrée 301 et le temps de sortie 302 de gaz, ou bien la durée entre le temps d'entrée et le temps de sortie d'une couche mince de

la chambre d'oxydation, ou bien la durée entre le temps de début et le temps de fin de chauffage, etc.).

- et des mesures d'épaisseur d'oxyde pour un certain nombre de couches post-oxydées dans des conditions d'oxydation prédéterminées et identiques à toutes ces couches.

A partir des comparaisons de ces deux types de mesures, et de la recette sélectionnée, l'unité de traitement déduit des valeurs de référence pour la détermination d'une durée d'oxydation de couches élaborées dans ces mêmes conditions d'oxydation prédéterminées.

Ajoutons que les paramètres principaux influençant la durée d'oxydation (contrôle de la composition chimique du gaz oxydant durant l'oxydation, contrôle en température, contrôle en pression, etc.) sont également contrôlés.

A cet égard, une variante du dispositif représenté figure 8 illustre un moyen de contrôle supplémentaire de la pression dans la chambre des gaz 407.

Le schéma de la figure 8 représente en effet une chambre d'oxydation 400 comprenant une chambre supplémentaire de pressurisation 408 reliée à au moins une pompe à vide et permettant de créer une pression réduite dans la chambre des gaz 407.

Par ce moyen, pour des pressions réduites, on peut influencer la vitesse d'oxydation des couches, et donc autoriser un meilleur contrôle de l'épaisseur des couches.

Les pressions utilisées sont typiquement au-dessus de quelques torrs, et donc de valeurs plus grandes que 0,01 atmosphère.

On atteint ainsi des vides bien moins poussés que ceux des procédures antérieures. Ce vide moins poussé réduit ainsi les contraintes au niveau des moyens de mise en œuvre du procédé (moyens de pompage, moyens d'étanchéité, moyens de surveillance).

L'oxydation thermique peut toutefois être réalisée aussi sous pression atmosphérique.

En ce qui concerne le paramètre de composition chimique des gaz oxydants, il est d'abord habituel d'avoir, avant toute entrée 301 de gaz, une atmosphère rendue la plus inerte et la moins oxydante possible au moyen par exemple de gaz inerte ou de dihydrogène.

- 5 La formation d'une couche d'oxyde de surface peut être généralement réalisée par voie sèche, ou par voie humide.

Par voie sèche, la formation de la couche d'oxyde de surface est produite sous oxygène gazeux.

- 10 Par voie humide, la formation de la couche d'oxyde de surface est produite par l'intermédiaire de vapeur d'eau.

En ce qui concerne la voie sèche, une technique préférentielle est celle concernant un mélange gazeux en entrée 301 comportant du dioxygène et du dihydrogène.

- 15 Dans ce dernier cas, et pour une meilleure maîtrise de l'oxydation, on préférera un taux d'oxygène compris entre 5 et 15 %⁴.

- 20 En pratique, tous ces paramètres (température, durée, pression, composition des gaz) sont contrôlés, permettant ainsi d'atteindre une reproductibilité fiable des oxydations pour des variations d'épaisseur d'oxyde qui peuvent osciller autour de 10 angströms, comme le montre par exemple la figure 14 où des épaisseurs d'oxyde (en ordonnée) sont comparées pour 700 couches (en abscisse) élaborées dans les mêmes conditions d'élaboration.

- 25 Ces paramètres sont aussi faciles à ajuster, rendant un tel procédé bien plus souple d'utilisation et plus homogène que l'ensemble des procédures habituelles de traitement de couches minces et/ou de tranches pour la fabrication de composants pour la micro-électronique.

La figure 10 illustre un procédé de fonctionnement d'une chambre d'oxydation thermique rapide.

⁴ à valider SVP

On précise que les moyens matériels évoqués pour cette oxydation thermique rapide sont reliés à l'unité de traitement, et sont commandés par elle.

Une unité de contrôle 502 en température ajuste un profil 503 préétabli de température dans le temps en fonction des mesures en température 501
5 reçues des capteurs 404 au niveau d'une couche mince 201, et alimente les lampes 401 conformément au profil 503 choisi.

Ce dispositif permet ainsi d'avoir un contrôle précis et aisé sur le déroulement de l'oxydation, et donc sur les valeurs d'épaisseur de la couche 201.

10 L'unité de contrôle 502 peut aussi avantageusement prendre en compte des spécifications des paramètres composition des gaz, pression dans la chambre des gaz, arrivée des gaz, cadence de passage des couches à l'intérieur de la chambre, etc.

Un tel dispositif mettant en œuvre une technique de retrait d'épaisseur
15 de couche est plus rapide que les techniques de l'art antérieur, étant donné que cette technique d'oxydation sacrificielle se fait simultanément sur toute la couche (et non séquentiellement de façon locale comme la majorité des procédés connus tentant d'atteindre le même but).

En outre, la vitesse d'oxydation est plus rapide que celle de certaines
20 techniques, telles la technique du polissage.

Des variantes d'un tel dispositif concernant des chambres d'oxydation pouvant contenir plusieurs couches minces, ou des associations de plusieurs chambres d'oxydation, pour augmenter encore la cadence des couches dans la chaîne de leur élaboration.

25 Le choix du dispositif de correction d'épaisseur mis en œuvre par le procédé de la présente invention ne se limite pas à ce dispositif 400 d'oxydation thermique rapide mais à tous les autres dispositifs d'oxydation thermique.

De manière générale, on obtient grâce à la technique d'oxydation sacrificielle une précision de correction bien supérieure à ce qui est
30 envisageable avec des techniques connues.

Et on peut ainsi retirer de manière uniforme de la matière sur la surface de la couche, et ce pour une épaisseur pouvant atteindre plusieurs centaines d'angströms.

Ceci est atteint en sélectionnant une recette comprenant une seule
5 valeur de correction d'épaisseur, ce qui permettra de réduire de façon uniforme l'épaisseur de la couche à corriger.

Et le dispositif d'oxydation règlera dans ce cas la température dans la chambre d'oxydation, en jouant en particulier sur l'alimentation électrique des lampes 401 et sur la durée d'oxydation afin d'obtenir une température uniforme
10 au niveau de toute la surface de la couche, et donc une oxydation uniforme.

Une autre application consiste à effectuer un retrait de matière différencié sélectivement sur la surface de la couche, par exemple pour ajuster une uniformité intracouche.

Dans le cas particulier où on essaie ainsi d'atteindre une uniformité
15 intracouche en épaisseur de la couche, il peut être en effet nécessaire de pratiquer un rattrapage de certaines zones inégales, telle une symétrie cylindrique convexe, concave ou à au moins une période et apparue lors de l'élaboration de la couche, ou bien telles des pentes « à gauche » ou « à droite », etc.

Un tel retrait différencié de matière peut être mis en œuvre par un
20 procédé d'oxydation sacrificielle, en particulier en établissant localement au niveau de la surface de la couche une température d'oxydation spécifique, et donc une épaisseur d'oxyde spécifique, en sélectionnant une recette adaptée, ce qui entraînera l'envoi d'une commande correspondante au dispositif
25 d'oxydation sacrificielle.

Et reprenant le cas de la chambre d'oxydation 400, une telle commande provoquera l'alimentation sélective des lampes 401 nécessaires pour réaliser les corrections désirées dans les zones choisies.

Il est également possible de combiner des recettes, pour traiter une
30 même couche.

On peut ainsi en particulier mettre en œuvre une correction (par exemple importante) d'épaisseur de manière uniforme sur la couche, puis une correction différenciée plus fine et susceptible de rattraper les inhomogénéités locales d'épaisseur, le rattrapage local pouvant être mis en œuvre par oxydation
 5 sacrificielle différenciée ou par polissage.

Par ce procédé d'élaboration de couche intégrant des opérations de correction d'épaisseur, le traitement de couche par oxydation sacrificielle est adapté aux épaisseurs actuelles de couches minces.

Les paramètres temps et température de l'oxydation, facilement
 10 ajustables, peuvent définir la quantité de matière à retirer et donc autorisent une maîtrise de la technique de sorte à obtenir une quantité de matière retirée autour d'une dizaine d'angströms sans pour autant créer de défauts cristallins notables, et conduisent donc à des applications sur des couches très minces.

Ces derniers points mènent en pratique à des possibilités d'application
 15 du procédé de la présente invention sur des couches minces de semi-conducteur d'épaisseurs moyennes inférieures à 1 μm .

Un autre aspect de l'invention concerne le fait que les couches minces sont généralement élaborées par lots.

Selon cet aspect de l'invention, on définit, pour toutes les couches d'un
 20 lot, un profil unique d'épaisseur cible (c'est la « cible » 30 qui est commune aux couches du lot).

Les spécifications respectives de correction d'épaisseur de chaque couche du lot sont alors individualisées de manière à ce que chaque couche du lot ait, une fois la correction d'épaisseur effectuée, un profil d'épaisseur final de
 25 couche le plus proche possible de la cible.

Les corrections d'épaisseur peuvent être uniformes, différenciées ou bien uniformes et différenciées, comme cela a été décrit ci-dessus.

Ce procédé concernant des couches de lot peut aussi s'appliquer à un lot organisé en une succession ordonnée de couches, et pour lequel on mesure

(1051') l'épaisseur moyenne d'une couche du lot pendant qu'on corrige (1053') l'épaisseur de la couche précédente du même lot (après avoir mesuré l'épaisseur de cette dernière couche).

5 Un résultat global de l'utilisation de ce type de procédé conforme à l'invention est présenté figure 13.

Cette figure montre une comparaison entre l'histogramme d'épaisseur d'un lot de couches n'ayant pas subi de correction traitement d'épaisseur (figure 13a), et un lot de couche après une finition 105' (figure 13b).

10 L'histogramme en épaisseur des couches du lot, dont le contour représente une gaussienne, diminue nettement en largeur après le traitement, ce qui traduit une amélioration de l'uniformité intercouches dans le lot ; ceci est un effet de l'individualisation des recettes sélectionnées pour chaque couche, en fonction de la mesure de la couche, et dans la perspective d'atteindre une cible commune.

15 On précise enfin que dans tous les cas de figure, l'étape 1050' peut être suivie d'un traitement de surface final de la couche, par exemple un polissage final 1054'.

REVENDICATIONS

1. Procédé de correction de l'épaisseur d'une couche mince de matériau
5 semiconducteur, comprenant les opérations suivantes :
 - acquisition d'au moins une mesure d'épaisseur de la couche,
 - détermination de spécifications de correction d'épaisseur à appliquer à la
couche, en fonction de(s) mesure(s) d'épaisseur acquise(s),
 - correction de l'épaisseur de la couche selon lesdites spécifications de
10 correction,caractérisé en ce que la détermination des spécifications de correction
comprend :
 - l'établissement d'un profil d'épaisseur de la couche, à partir des mesures
d'épaisseur acquises,
 - 15 • la comparaison dudit profil avec des profils-types mémorisés, chaque
profil-type étant mémorisé en association avec des spécifications de
correction d'épaisseur (ou recettes) respectives, et
 - la sélection d'un profil-type mémorisé, pour associer à la couche dont on
souhaite corriger l'épaisseur, les spécifications de correction d'épaisseur
20 mémorisées en association avec le profil-type choisi
2. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le
procédé comprend une configuration permettant d'établir des associations
entre les profils-types mémorisés et les recettes.
- 25 3. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ladite
configuration est réalisée par un algorithme dont une donnée d'entrée est
une spécification-cible de profil d'épaisseur (ou « cible ») établie pour la
fabrication de couches.

4. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que les mesures d'épaisseurs, les profils-types et la cible sont définis selon des maillages identiques.
5. Procédé selon l'une des deux revendications précédentes, caractérisé en ce que à chaque changement de cible, l'algorithme de configuration est automatiquement réactivé pour établir une nouvelle configuration définissant des correspondances entre les profils-types et les recettes.
10. Procédé selon l'une des quatre revendications précédentes, caractérisé en ce que le procédé comprend la mémorisation d'au moins une configuration.
15. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le procédé comprend la mémorisation de plusieurs configurations, ainsi que la sélection d'une configuration désirée.
20. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les profils-types et/ou les recettes font l'objet d'un classement selon une arborescence définissant des catégories et sous catégories avec un nombre de niveaux désiré.
25. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que on peut sélectionner des zones de l'arborescence de profils-types dans lesquelles chercher pour réaliser la sélection d'un profil-type.
30. Procédé selon l'une des deux revendications précédentes, caractérisé en ce que l'arborescence des recettes est définie par des niveaux de détail de plus en plus fins en descendant l'arborescence.

11. Procédé selon la revendication précédente prise en combinaison avec la revendication 3, caractérisé en ce que pour établir une configuration, l'algorithme de configuration cherchant une recette à associer à un profil-type ne cherchera pas dans toutes les recettes, mais sélectionnera d'abord des catégories de recettes en fonction des écarts d'épaisseur entre la cible et le profil-type.
12. Procédé selon l'une des quatre revendications précédentes prise en combinaison avec la revendication 3, caractérisé en ce que on établit pour la configuration un lien entre un niveau donné d'une arborescence de profils-types (« niveau de départ ») et un niveau donné d'une arborescence de recettes (« niveau d'arrivée »), de sorte que pour chaque profil-type rattaché à une catégorie donnée de ce niveau de départ, il existe une catégorie du niveau d'arrivée des recettes, et lors de la configuration, toute recherche d'une recette pour un profil-type de ce niveau de départ sera automatiquement dirigée vers ladite catégorie de niveau d'arrivée, la recherche se poursuivant ensuite en descendant l'arborescence des recettes.
13. Procédé selon l'une des deux revendications précédentes, caractérisé en ce que l'arborescence des recettes est définie par paramètres de recettes.
14. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que dans l'arborescence des recettes les catégories de plus haut niveau de recettes comprennent :
- une première catégorie de plus haut niveau de recettes qui définissent une spécification de correction d'épaisseur uniforme pour toute la surface de la couche,
 - et d'autres catégories de plus haut niveau, selon des paramètres

globaux de répartition des spécifications de correction d'épaisseur sur cette surface.

5 15. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la correction de l'épaisseur de la couche fait intervenir une oxydation sacrificielle.

10 16. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les couches sont traitées par lots, l'épaisseur d'une couche d'un lot étant mesurée tandis que l'épaisseur une couche précédant ladite couche mesurée dans le lot avec un pas donné est corrigée.

15 17. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que les couches d'un même lot partageant une même cible d'épaisseur finale, la sélection de recette pour chaque couche est individualisée de manière à obtenir pour le lot, une fois la correction d'épaisseur effectuée, une épaisseur moyenne de couche la plus proche de la cible commune.

20 18. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que des recettes correspondent à une modification d'épaisseur uniforme sur toute la couche.

25 19. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que des recettes correspondent à une modification d'épaisseur différenciée sur la surface de la couche.

20. Dispositif de mise en œuvre d'un procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le dispositif comprend :

- des moyens de mesure d'épaisseur,

- des moyens de correction d'épaisseur;
- une unité de traitement, associée à des moyens de mémorisation, et reliée aux moyens de mesure d'épaisseur pour en recevoir des mesures réalisées sur les couches ainsi qu'aux moyens de correction d'épaisseur pour leur transmettre des spécifications de correction d'épaisseur.

21. Dispositif selon la revendication précédente, caractérisé en ce que les moyens de mesure d'épaisseur comprennent un ellipsomètre.

22. Dispositif selon l'une des deux revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens de mesure d'épaisseur comprennent un réflectomètre.

23. Dispositif selon la revendication précédente, caractérisé en ce que les moyens de mesure d'épaisseur comprennent un dispositif de type ACUMAP™.

24. Dispositif selon l'une des quatre revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens de correction d'épaisseur comprennent un dispositif de type RTP XE Centura™.

ABRÉGÉ

« PROCEDE D'ELABORATION DE COUCHES MINCES DE SEMI- CONDUCTEUR COMPRENANT UNE ÉTAPE DE FINITION »

Déposant : SOL.T.E.C. Silicon On Insulator Technologies

10 L'invention concerne un procédé de correction de l'épaisseur d'une
couche mince de matériau semiconducteur, comprenant les opérations
suivantes :

- mesure d'épaisseur de la couche,
- détermination de spécifications de correction d'épaisseur à appliquer à la
15 couche,
- correction de l'épaisseur de la couche,

caractérisé en ce que la détermination des spécifications de correction
comprend :

- l'établissement d'un profil d'épaisseur de la couche,
- 20 • la comparaison dudit profil avec des profils-types mémorisés en
association avec des spécifications de correction d'épaisseur
respectives, et
- la sélection d'un profil-type mémorisé, pour associer à la couche dont on
souhaite corriger l'épaisseur, les spécifications de correction d'épaisseur
25 mémorisées en association avec le profil-type choisi.

L'invention concerne également un dispositif associé.

FIGURE 4.

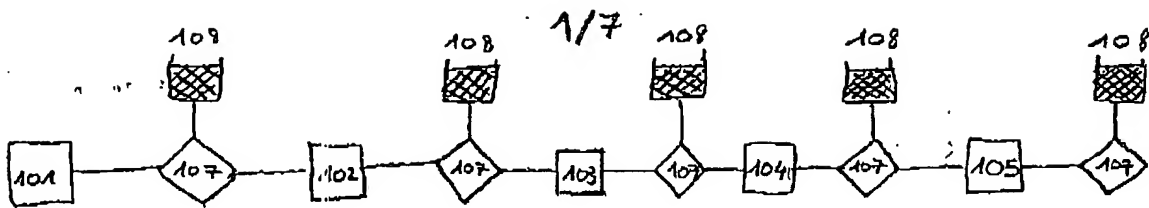


Figure 1:

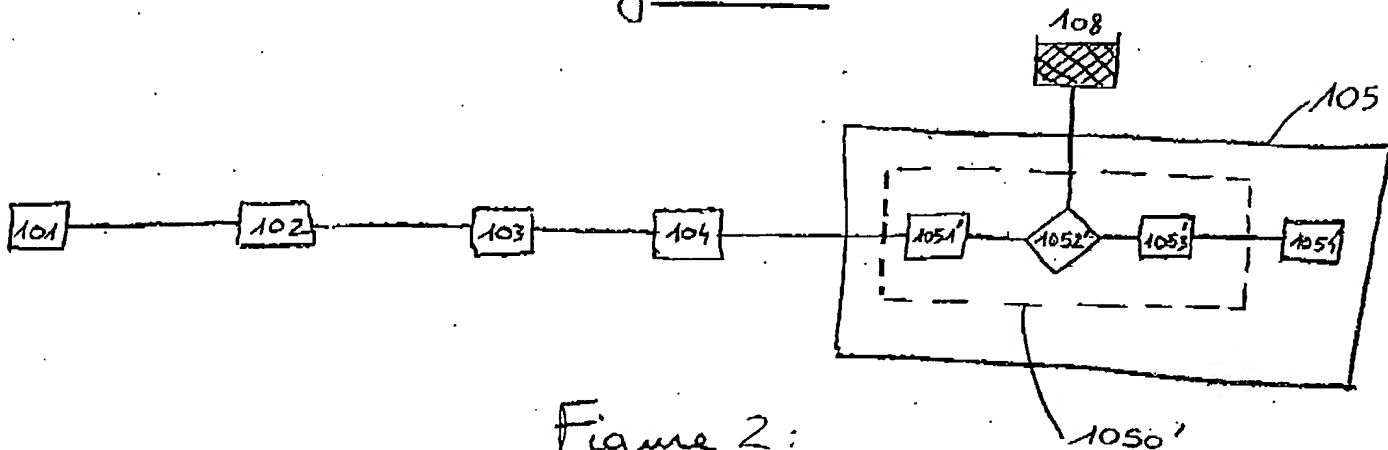


Figure 2:

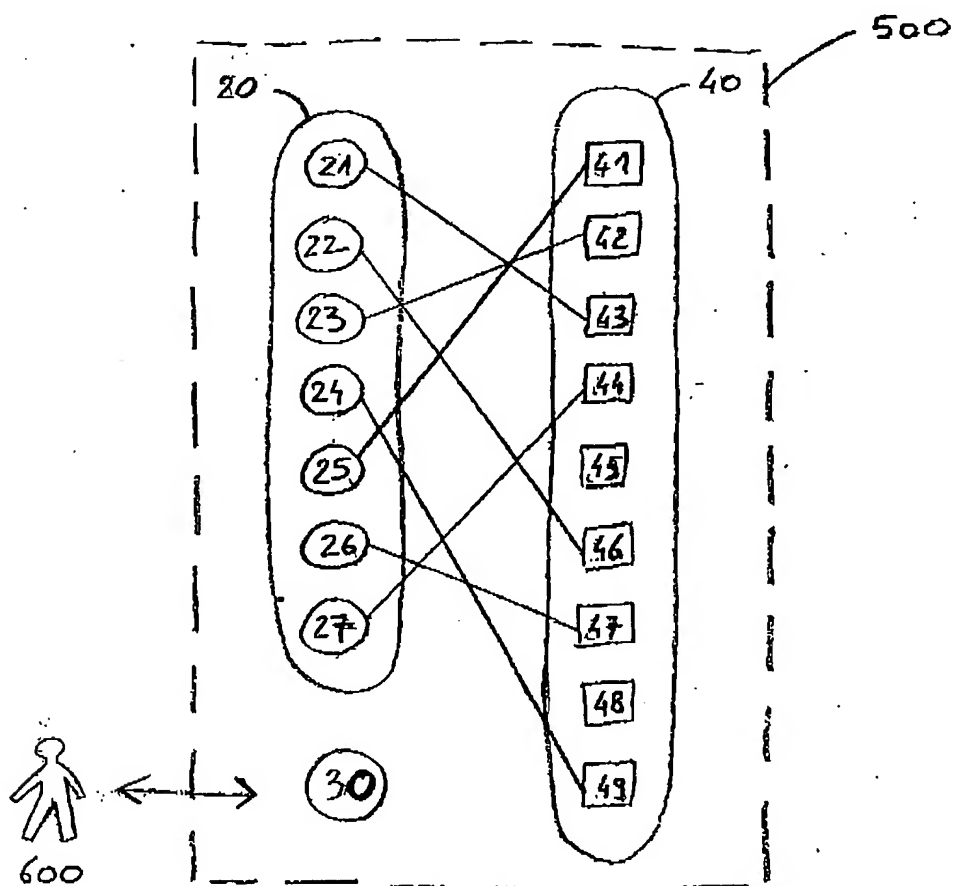


Figure 3:

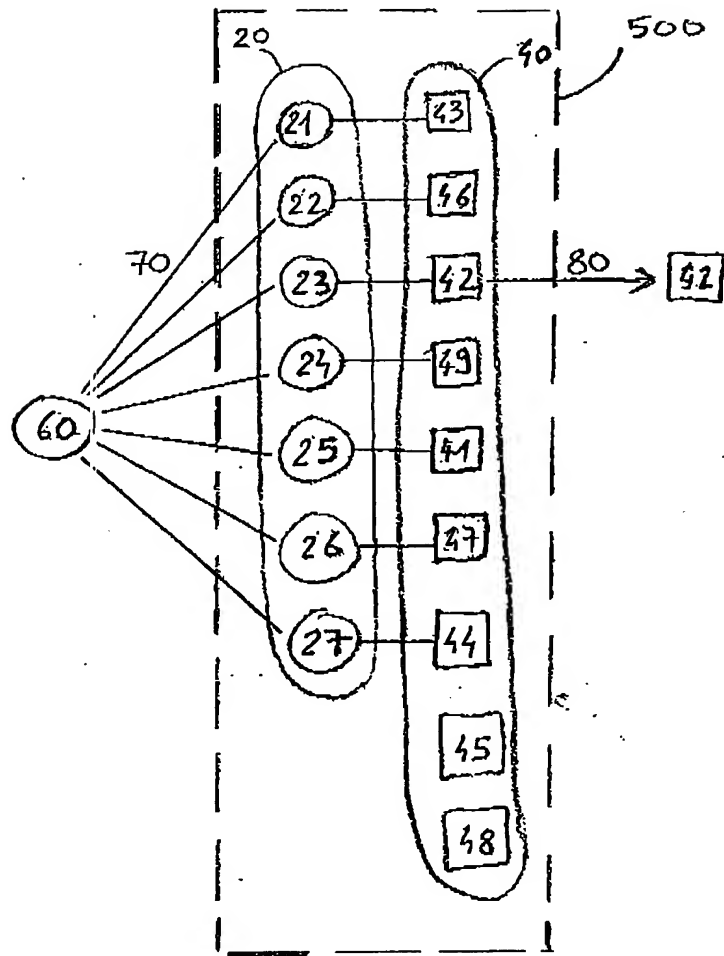


Figure 4:

3/7

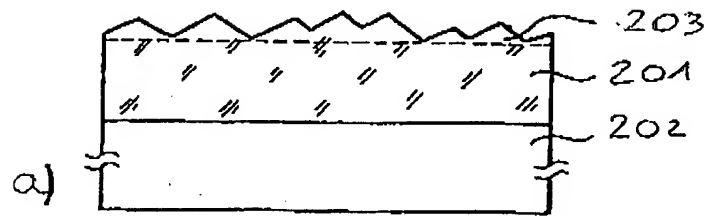


Figure 5

↓
 203 la partie
 ou s'interne par
 rather l'eff d'épaisseur

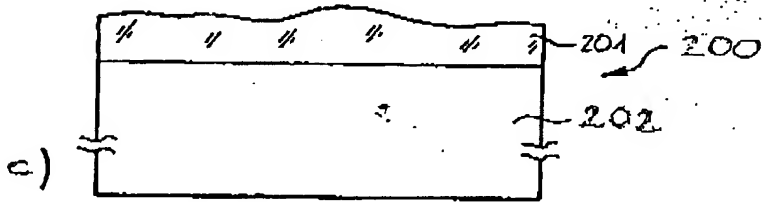
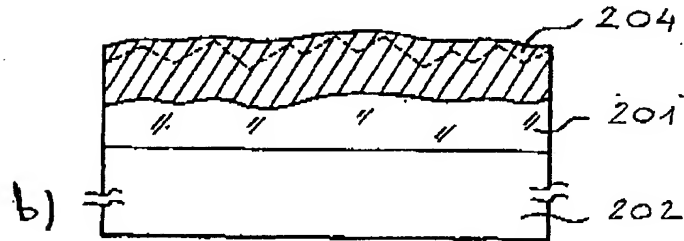
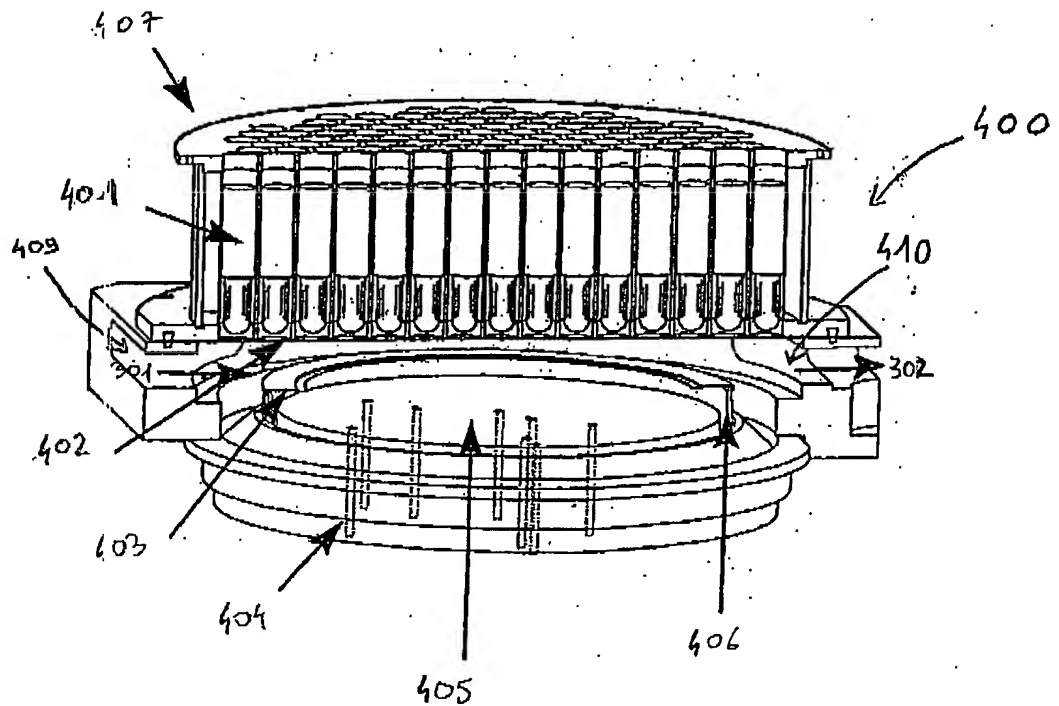


Figure 6



4/7

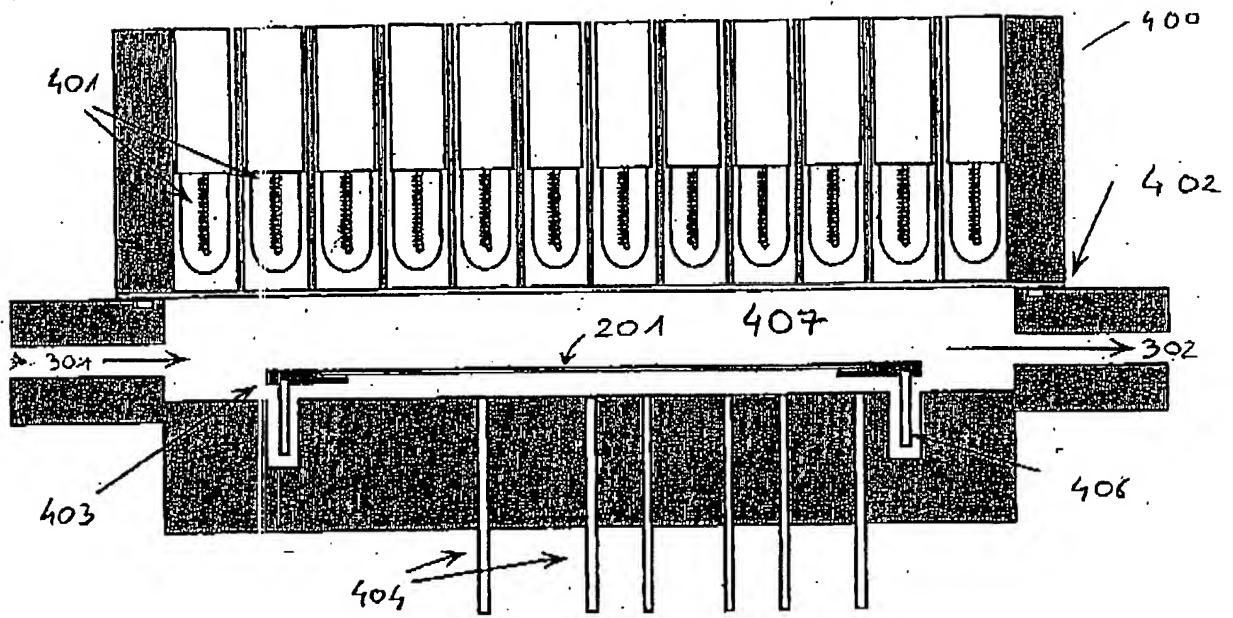


figure 7:

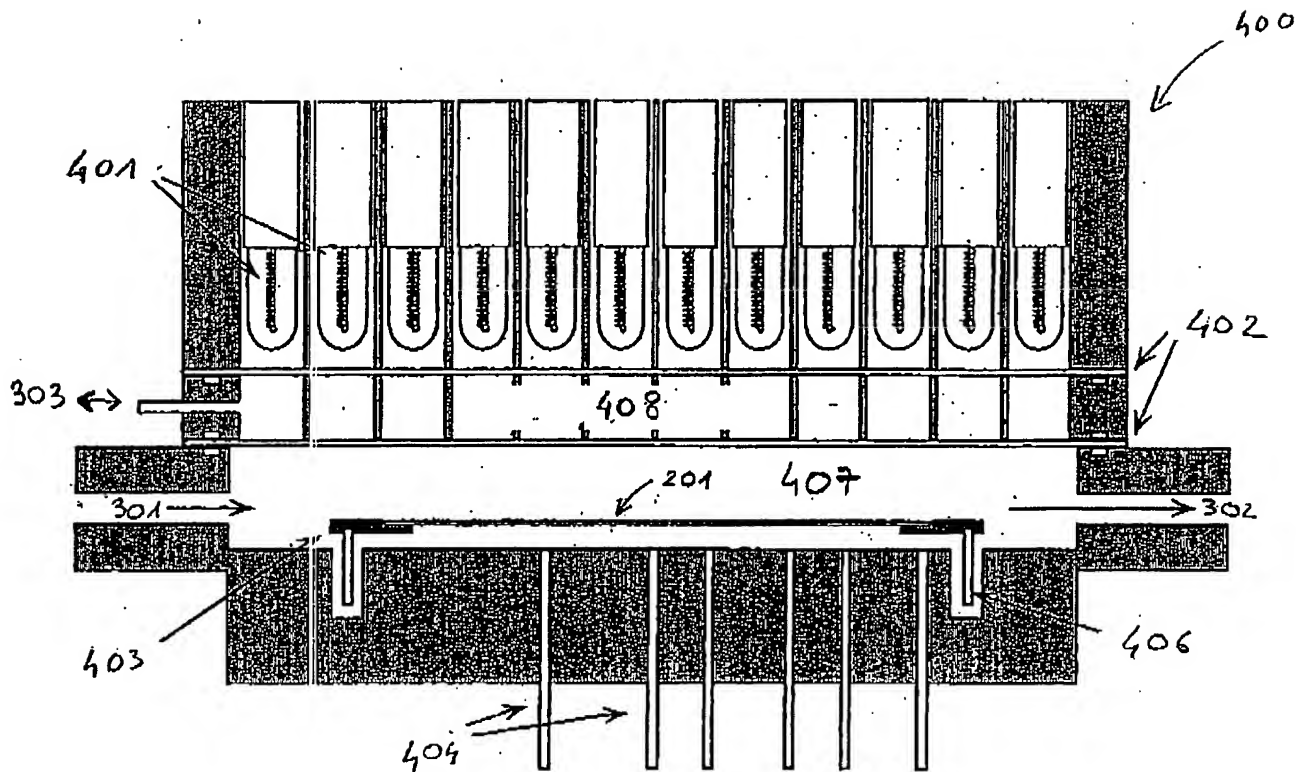


Figure 8

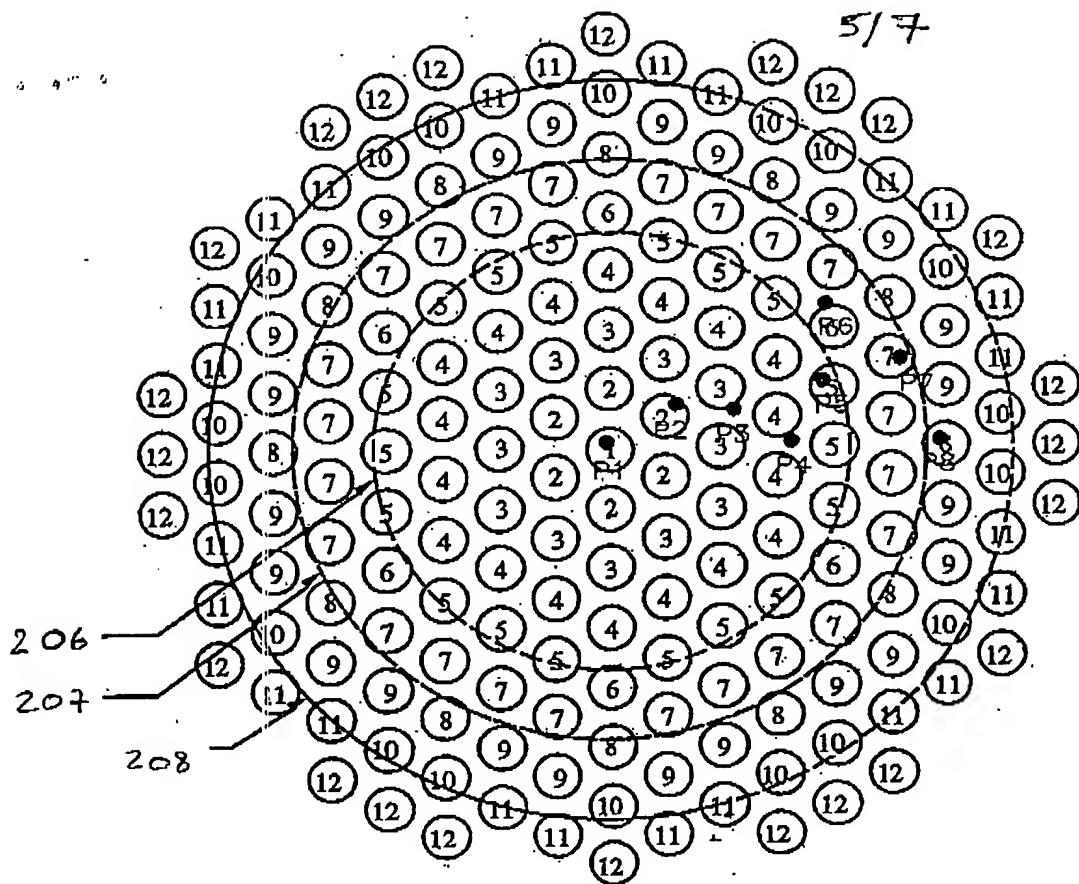


Figure 9

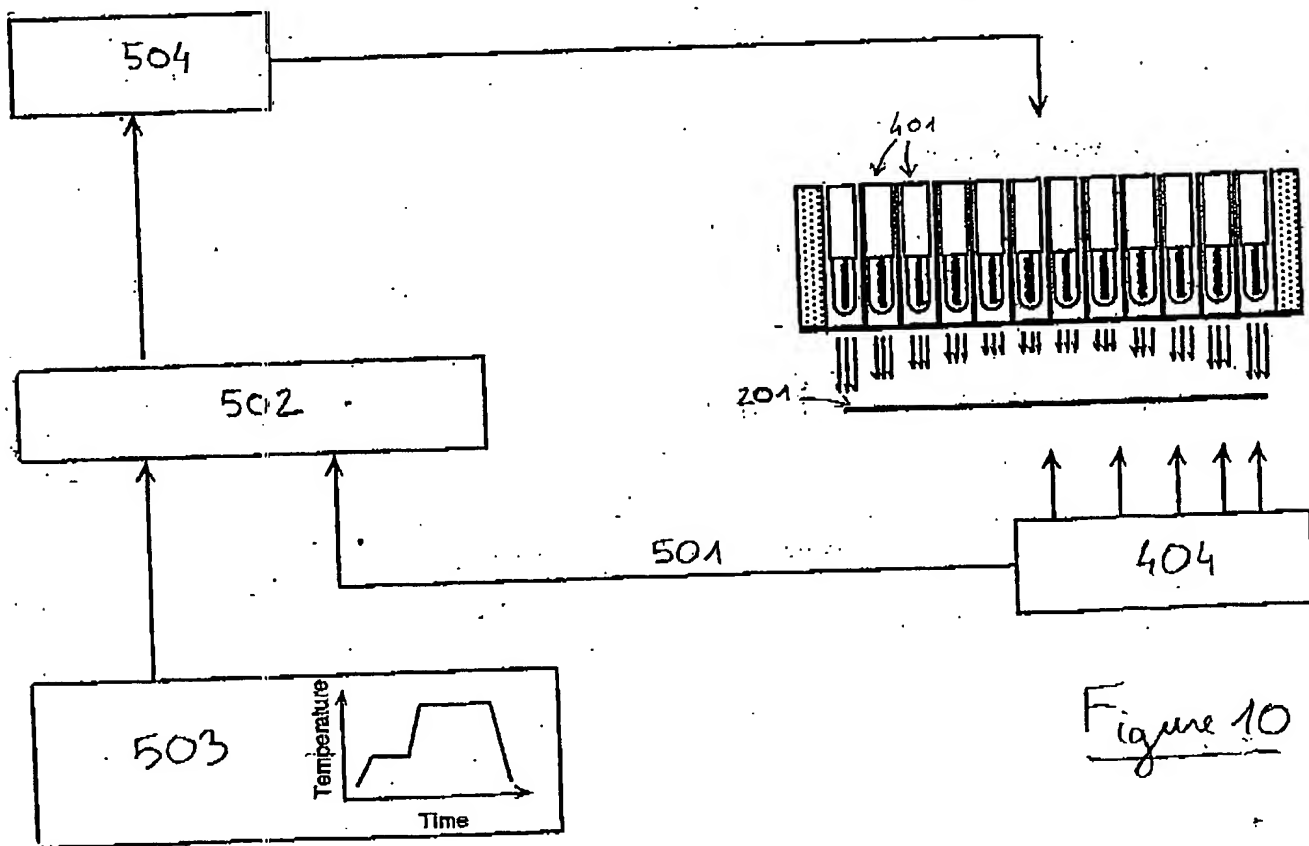


Figure 10

617

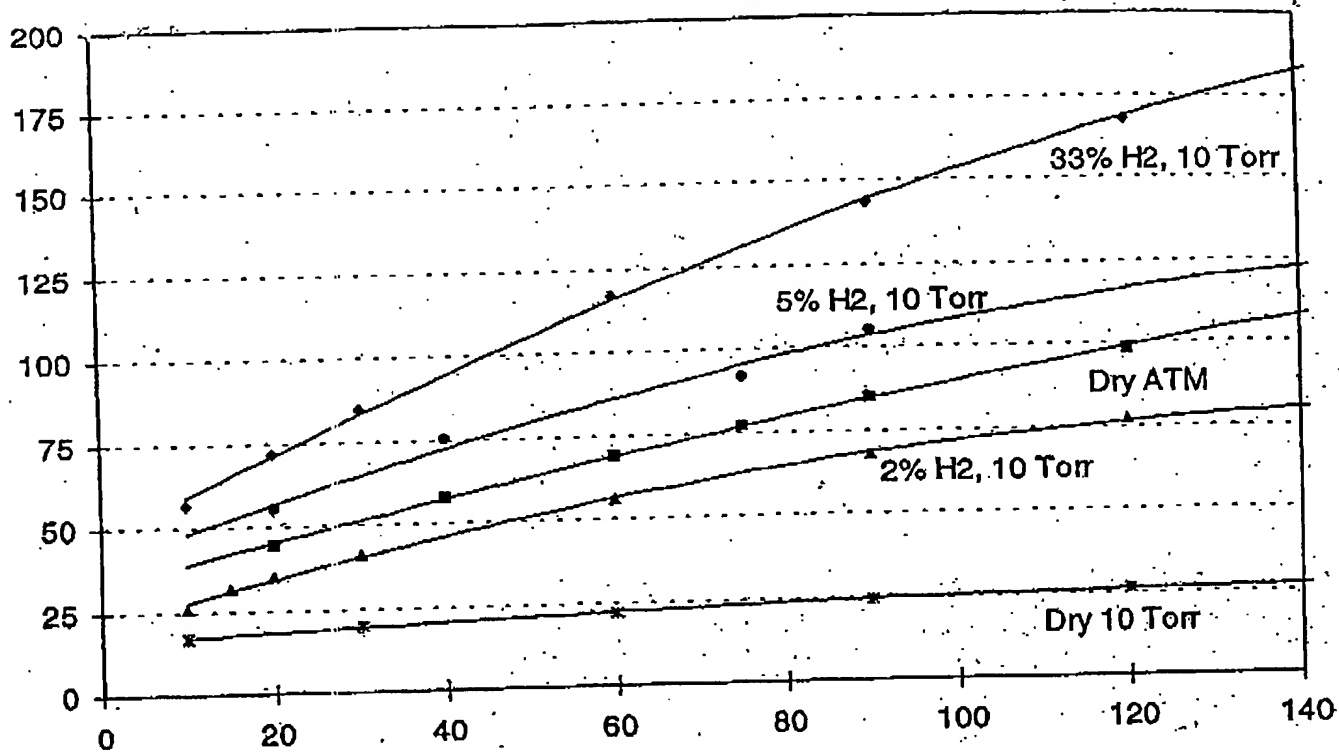


Figure 11.

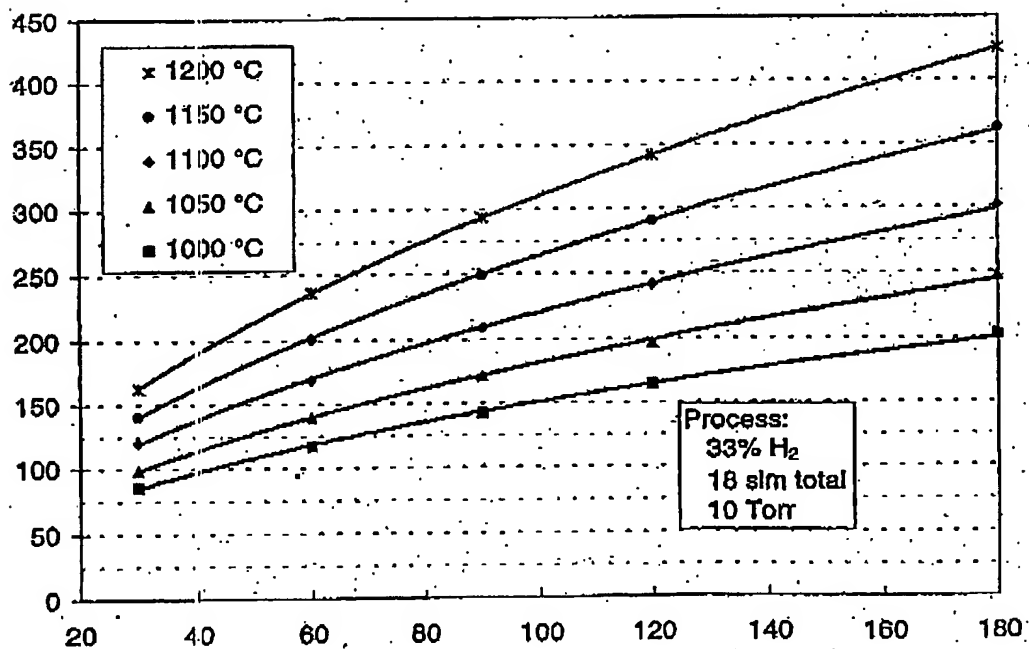
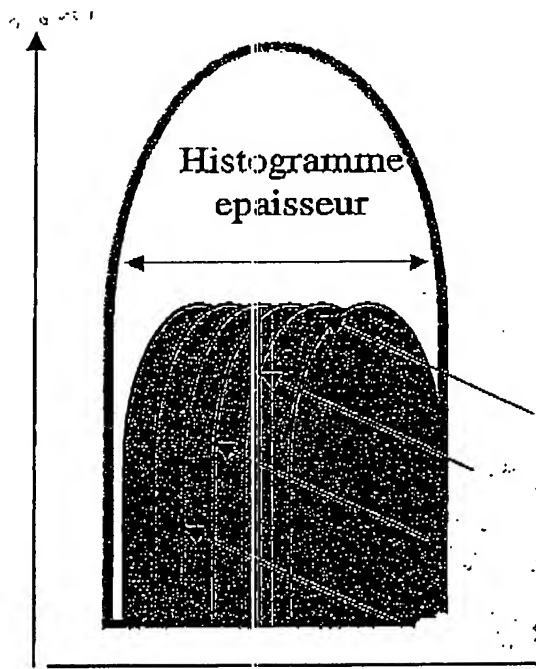
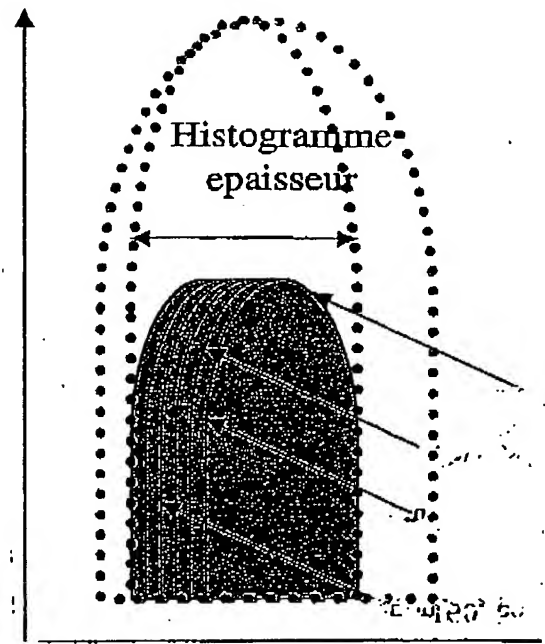


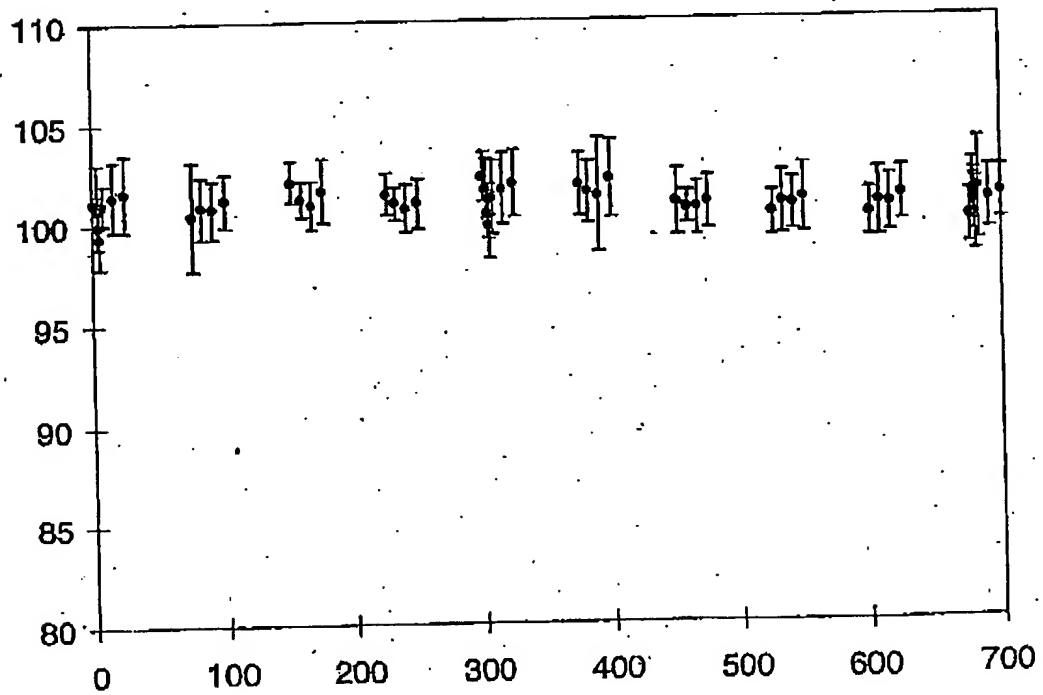
Figure 12.



a)



b)

Figure 13:Figure 14:

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.